

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP2006/300550

International filing date: 17 January 2006 (17.01.2006)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2005-009242  
Filing date: 17 January 2005 (17.01.2005)

Date of receipt at the International Bureau: 23 February 2006 (23.02.2006)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2005年 1月 17日

出願番号 Application Number: 特願 2005-009242

パリ条約による外国への出願に用いる優先権の主張の基礎となる出願の国コードと出願番号

The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is

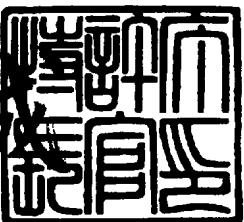
出願人 Applicant(s): アンリツ株式会社

J P 2005-009242

2006年 2月 8日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

中 鳴 誓



【書類名】 特許願  
【整理番号】 P-8866  
【提出日】 平成17年 1月17日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 33/00  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県厚木市恩名1800番地 アンリツ株式会社内  
【氏名】 鈴木 徹也  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県厚木市恩名1800番地 アンリツ株式会社内  
【氏名】 吉田谷 弘明  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県厚木市恩名1800番地 アンリツ株式会社内  
【氏名】 村上 清一  
【特許出願人】  
【識別番号】 000000572  
【氏名又は名称】 アンリツ株式会社  
【代理人】  
【識別番号】 100072604  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 有我 軍一郎  
【電話番号】 03-3370-2470  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 006529  
【納付金額】 16,000円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 0405977

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

障壁層と前記障壁層に挟まれた井戸層とからなる量子井戸を複数有する活性層を備え、発光の中心波長が 800 nm から 850 nm までの間のいずれかを有する半導体光素子であって、

少なくとも 1 つ以上の前記井戸層が、 $In_{x}aGa_{(1-x)a}As$  膜からなると共に、前記  $In$  の組成比  $x$  が 0.05 から 0.20 までの範囲のいずれかの値をとる、歪井戸層であり、前記歪井戸層を有する少なくとも 1 つ以上の前記量子井戸が他のいずれかの前記量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有することを特徴とする半導体光素子。

【請求項 2】

障壁層と前記障壁層に挟まれた井戸層とからなる量子井戸を複数有する活性層を備え、増幅の中心波長が 800 nm から 850 nm までの間のいずれかを有する半導体光素子であって、

少なくとも 1 つ以上の前記井戸層が、 $In_{x}aGa_{(1-x)a}As$  膜からなると共に、前記  $In$  の組成比  $x$  が 0.05 から 0.20 までの範囲のいずれかの値をとる、歪井戸層であり、前記歪井戸層を有する少なくとも 1 つ以上の前記量子井戸が他のいずれかの前記量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有することを特徴とする半導体光素子。

【請求項 3】

各前記歪井戸層が、略 2.5 nm から 略 5 nm までの範囲のいずれかの層厚を有することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体光素子。

【請求項 4】

前記活性層に含まれる各前記量子井戸が略同一の層厚を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の半導体光素子。

【書類名】明細書

【発明の名称】半導体光素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、化合物半導体を用いた半導体光素子に関し、特にスーパールミネッセントダイオード、半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、中心波長が800nmから850nmまでの波長帯で用いられるスーパールミネッセントダイオード (Super Luminescent Diode。以下、単にSLDという。) は、光ジャイロ、光通信装置、光応用計測装置等への利用が進められている。かかるSLDは、所定の発光特性を得るために、通常、III-V族化合物半導体が用いられ、活性層にp-n接合を用いた構造のもの、量子井戸を用いた構造のもの等がある。

【0003】

ここで、半導体光増幅器および外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子は、SLDとは異なる機能を有するものであるが、SLDと同様に所定のスペクトル半値幅を有する。これに対して半導体レーザには所定の波長で発光する機能が求められ、発光特性を向上させる半導体レーザとして以下に示す構成のものがある。基板がGaAsからなり870~1100nmの波長帯で発光する半導体レーザにおいては、活性層を構成する井戸層の材料として、通常、InGaAsが用いられ、6~10nmの範囲から井戸層厚(量子井戸の幅)が選択され、必要とする発光波長で好適に発光するように井戸層に格子歪を入れるためのIn組成比が決定される(例えば、特許文献1参照)。

【0004】

また、800~870nmの波長帯で用いられる光増幅器においては、井戸層にGaAsが用いられ、所定の発光特性を確保する観点から井戸層厚を5nm以上とするのが一般的であった(例えば、特許文献2参照)。なお、活性層を構成する井戸層の材料としてIn0.03Ga0.97Asを用い、井戸層の膜厚(量子井戸の幅)が3nmで、780nmの波長帯で発光する半導体レーザの技術も開示されている(例えば、特許文献2参照)。

【0005】

ここで、SLDには、利用上の観点から、半導体レーザよりも広い発光スペクトル半値幅で発光することが求められる。半導体発光素子の発光スペクトルを広くする方法としては、一例として、発光波長帯の異なる複数の井戸層を設ける方法が開示されている(例えば、特許文献3、4参照)。かかる構造を有する発光素子は、駆動電流の全ての範囲内で一定の発光スペクトル半値幅を維持することが困難であり、例えば、低駆動電流側では発光の波長帯の長波長側で強度の強い発光スペクトルが得られ、駆動電流の増加に伴い強度の強い帯域が短波長側に移りまたは短波長側に広がっていくなどのように動作するものが多く、また所望の発光スペクトル半値幅で利用できる電流範囲が狭いため、動作が不安定になりがちであった。同様のことが、所定のスペクトル半値幅を有する半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等についても生じていた。

【特許文献1】特開平05-226789号公報

【特許文献2】特開平05-175598号公報

【特許文献3】特開平01-179488号公報

【特許文献4】特開昭57-109387号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、このような上記の各特許文献に開示された従来の半導体光素子では、厚さ6nm以上のGaAs膜またはInGaAs膜を井戸層として用いるが、800~850nm

の発光波長帯で利用するという観点からは一定の発光スペクトル半値幅を維持したまま効率のよい発光を安定して得ることは難しいという問題があった。なお、特許文献2に開示された半導体レーザでは、上記の井戸層厚が3 nmかつ発光波長帯が780 nmとなっているが、波長による制約から井戸層に  $In_{x}Ga_{(1-x)a}As$  を用いる限りはこのような狭い井戸層を使わざるを得ず、また井戸層にInの割合が極めて低い  $In_{0.03}Ga_{0.97}As$  を用いるため、格子歪に起因する利点を充分に引き出すことができないという問題があった。

#### 【0007】

本発明はこのような問題を解決するためになされたもので、井戸層の厚さが6 nm未満であっても従来のSLD、半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子よりも良好な発光特性または増幅特性を得ることが可能な半導体光素子を提供するものである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

以上の点を考慮して、請求項1に係る発明は、障壁層と前記障壁層に挟まれた井戸層とからなる量子井戸を複数有する活性層を備え、発光の中心波長が800 nmから850 nmまでの間のいずれかを有する半導体光素子であって、少なくとも1つ以上の前記井戸層が、  $In_{x}Ga_{(1-x)a}As$  膜からなると共に、前記Inの組成比x aが0.05から0.20までの範囲のいずれかの値をとる、歪井戸層であり、前記歪井戸層を有する少なくとも1つ以上の前記量子井戸が他のいずれかの前記量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有する構成をなす。

#### 【0009】

この構成により、活性層が他の量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有する歪井戸層を有し、歪井戸層が  $In_{x}Ga_{(1-x)a}As$  膜からなると共に、Inの組成比x aが、歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく発光特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、もって井戸層の厚さが6 nm未満であっても従来のSLD等の半導体光素子よりも良好な発光特性を得ることが可能な半導体光素子を実現することができる。

#### 【0010】

また、請求項2に係る発明は、障壁層と前記障壁層に挟まれた井戸層とからなる量子井戸を複数有する活性層を備え、増幅の中心波長が800 nmから850 nmまでの間のいずれかを有する半導体光素子であって、少なくとも1つ以上の前記井戸層が、  $In_{x}Ga_{(1-x)a}As$  膜からなると共に、前記Inの組成比x aが0.05から0.20までの範囲のいずれかの値をとる、歪井戸層であり、前記歪井戸層を有する少なくとも1つ以上の前記量子井戸が他のいずれかの前記量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有する構成をなす。

#### 【0011】

この構成により、活性層が他の量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有する歪井戸層を有し、歪井戸層が  $In_{x}Ga_{(1-x)a}As$  膜からなると共に、Inの組成比x aが、歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく増幅特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、もって井戸層の厚さが6 nm未満であっても従来の半導体光増幅器等の半導体光素子よりも良好な増幅特性を得ることが可能な半導体光素子としての半導体光増幅器等を実現することができる。

#### 【0012】

また、請求項3に係る発明は、請求項1または請求項2において、各前記歪井戸層が、2.5 nmから5 nmまでの範囲のいずれかの層厚を有する構成をなす。

#### 【0013】

この構成により、請求項1または請求項2の効果に加え、各歪井戸層が略2.5 nmから略5 nmまでの範囲のいずれかの層厚を有するため、格子歪を有效地に発生させることができ

でき、従来の半導体光素子に比して、中心波長が800nmから850nmまでの波長帯でさらに良好な発光特性または增幅特性を得ることが可能な半導体光素子を実現することができる。

#### 【0014】

また、請求項4に係る発明は、請求項1から請求項3までのいずれか1項において、前記活性層に含まれる各前記量子井戸が略同一の層厚を有する構成をなす。

#### 【0015】

この構成により、請求項1から請求項3までのいずれか1項の効果に加え、活性層に含まれる各量子井戸が略同一の層厚を有するため、上記の波長帯の中心波長および井戸層厚で適切に歪を生じさせることができが可能な半導体光素子を実現することができる。

#### 【発明の効果】

#### 【0016】

本発明は、活性層が他の量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有する歪井戸層を有し、歪井戸層が $In_xGa_{1-x}As$ 膜からなると共に、Inの組成比 $x$ が、歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく発光特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、もって井戸層の厚さが6nm未満であっても従来の半導体光素子よりも良好な発光特性または增幅特性を得ることが可能な半導体光素子を提供することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0017】

以下、本発明をスーパールミネッセントダイオード (Super Luminescent Diode。以下、単にSLDという。) に適用した場合の実施の形態について、図面を用いて説明する。  
(実施の形態)

図1は、本発明の実施の形態に係るSLD100の平面構造(図1(a))と断面構造(図1(b))の一例を示す図である。図1(a)に符号10を用いて示す部分は利得領域となるリッジ部であり、符号11を用いて示す部分は吸収領域であり、符号20を用いて示す部分は光が導波されない領域(以下、非導波部という。)、すなわち、クラッド層がリッジ部10と接続されておらず、動作電流が注入されない領域である。また、符号12を用いて示す膜は、反射防止膜である。

#### 【0018】

図1(b)は、図1(a)に示すSLD100のA-B断面である。図1(b)に示すように、SLD100は、半導体基板1と、クラッド層2と、活性層3と、クラッド層4と、エッ칭阻止層5と、コンタクト層6と、絶縁膜7と、コンタクト層6上の電極8と、半導体基板1の裏面(上記の半導体層2~5が積層された基板面と反対側の面をいう。)上の電極9とを有する。

#### 【0019】

本発明のSLD100は、800~850nmの発光波長帯に用いられるものである。半導体基板1はn-GaAs基板である。半導体基板1としては、III-Vの半導体を用いることができるが、活性層3との組み合わせが好適であること、高い品質の基板が得られること、物性が比較的分かっていること、入手の容易性等からGaAs基板を用いるのが好適である。

#### 【0020】

また、GaAs中では、電子の移動度が正孔の移動度より大きいため、n-GaAs基板はp-GaAs基板より抵抗率が低い。活性層3から半導体基板1の裏面上の電極9までの距離が、コンタクト層6上の電極8までの距離よりも長いため、半導体基板1の裏面上の電極9から活性層3までの電気抵抗が大きくならないようにするために、半導体基板1にn-GaAs基板を用いるものである。

#### 【0021】

クラッド層2はn-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As層からなる。Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asは、GaAsと格子定数の差が小さいため格子不整合に伴う欠陥の問題を回避で

きて好適である。ここで、 $x_b$  は略 0.4 であり、不純物濃度は略  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚は略  $2 \mu\text{m}$  である。n 型の不純物としては、例えば、Si が好適である。

#### 【0022】

活性層 3 は、井戸層がアンドープの  $\text{In}_{x_a} \text{Ga}_{(1-x_a)} \text{As}$  を用いて形成され、障壁層がアンドープの  $\text{Al}_{x_c} \text{Ga}_{(1-x_c)} \text{As}$  を用いて形成される。ここで、 $\text{In}_{x_a} \text{Ga}_{(1-x_a)} \text{As}$  は格子歪をもたせることによって発光の量子効率を向上させることができるために、活性層 3 を構成する井戸層に用いるものである。

#### 【0023】

また、井戸層は 2 種類からなり、第 1 の種類の井戸層の In 組成比  $x_a$  は 0.10 であり、第 2 の種類の井戸層の In 組成比  $x_a$  は略 0.02 であり、厚さは全て略 3 nm である。各種類の井戸層は複数でもよく、以下では各種類の井戸層を 2 層とする。障壁層の Al 組成比  $x_c$  は略 0.25 である。図 2 は、井戸層の膜厚と発光波長との関係を In の組成比  $x_a$  をパラメータにして示す図である。図 2 に示すように、In の組成比  $x_a$  が 0.10 のときのバンドギャップ波長は略 840 nm であり、0.02 のときのバンドギャップ波長は略 810 nm である。

#### 【0024】

図 3 は、井戸層の種類が 2 種類で、各種類の井戸層が 2 層からなる活性層 3 の説明図である。図 3 において、 $E_c$  は伝導帯の底のエネルギー準位を示し、 $E_v$  は価電子帯の上端のエネルギー準位を示す。また、記号  $h$  は、プランク定数であり、記号  $c$  は光速を示す。ここで、第 1 の井戸層は、厚さが  $d_1$  で、バンドギャップ波長  $\lambda_1$  の光を発光するようになっており、第 2 の井戸層は、厚さが  $d_2$  で、バンドギャップ波長  $\lambda_2$  の光を発光するようになっている。上記で示したように、井戸層の厚さ  $d_1$  と  $d_2$  とは同一とする。障壁層の厚さ  $d_b$  は、全て同一で 10 nm とする。

#### 【0025】

クラッド層 4 は  $p-\text{Al}_{x_b} \text{Ga}_{(1-x_b)} \text{As}$  層からなり、不純物濃度は略  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚は略  $2 \mu\text{m}$  である。なお、クラッド層 4 中に設けられたエッチング阻止層 5 は、InGaP からなり、層厚は略 15 nm である。コンタクト層 6 は、 $p+ \text{GaAs}$  層からなり、不純物濃度は略  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚は略  $1 \mu\text{m}$  である。p 型の不純物としては、例えば、Zn が好適である。

#### 【0026】

なお、コンタクト層 6 上の電極（以下、p 電極という。）8 とコンタクト層 6 とは、 $\text{SiO}_2$  からなる絶縁膜 7 に設けられたコンタクトホールを介して電気的に接続されている。

#### 【0027】

以下、本発明の実施の形態に係る SL D 100 の作成方法について、図面を用いて説明する。まず、図 4 (a) に示すように、n-GaAs からなる半導体基板 1 の (100) 面上に、n-Al<sub>x</sub>bGa<sub>(1-x\_b)</sub>As 層からなるクラッド層 2、アンドープの In<sub>x\_a</sub>Ga<sub>(1-x\_a)</sub>As の井戸層とアンドープの Al<sub>x\_c</sub>Ga<sub>(1-x\_c)</sub>As 障壁層からなる活性層 3、p-Al<sub>x\_b</sub>Ga<sub>(1-x\_b)</sub>As 層からなるクラッド層 4、および、p+GaAs からなるコンタクト層 6 を、この順番に堆積する（工程 1）。ここで、クラッド層 4 の活性層 3 よりの位置に、p-InGaP からなるエッチング阻止層 5 が設けられている。

#### 【0028】

上記の各半導体層 2～6 は、例えば、MOVPE (Metal Organic Vapour Phase Epitaxy) 等の技術を用いて堆積されるが、その他の技術を用いて形成するのでもよい。また、n 型の不純物としては、例えば、Si 等が用いられ、p 型の不純物としては、例えば、Zn 等が用いられる。ただし、本発明の適用は、これらの元素に限定されるものではなく、他の元素であってもよい。

#### 【0029】

上記の各半導体層 2、4～6 の厚さは、半導体基板 1 側からそれぞれ、例えば、 $2 \mu\text{m}$

、 $2 \mu\text{m}$ 、 $1.5 \text{nm}$ 、および、 $1 \mu\text{m}$ 程度である。なお、活性層3は、上記で説明した層の構成を有するものとする。また、上記の各半導体層2、4、5、6中の不純物濃度は、半導体基板1側からそれぞれ、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ および $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 程度である。

### 【0030】

なお、上記では各井戸層の厚さを $3 \text{nm}$ としたが、本発明の適用は、上記の井戸層の厚さに限定されるものではなく、 $2.5 \text{nm}$ から $5 \text{nm}$ までの範囲のいずれかでもよい。

### 【0031】

「背景技術」の項目でも記載したように、従来、 $800 \sim 850 \text{nm}$ 付近の波長帯で用いる半導体光素子において、活性層中の井戸層としては、厚さ $6 \sim 10 \text{nm}$ 程度のGaAs膜またはAl組成比が数%のAlGaAs膜を用いる。また、活性層中の障壁層としては、光閉込め係数および量子井戸へのキャリア注入効率を高く維持するという観点からAl組成比が $0.2 \sim 0.3$ 程度のAlGaAs膜が用いられる。これらの井戸層と障壁層とを用いて発光効率の優れた素子が得られている。

### 【0032】

一方、InGaAs膜を井戸層に用いることにより、この層に圧縮歪みを発生させることができ、GaAsでは価電子帯端で縮退している2つのバンドのうち、井戸層界面に平行方向の有効質量が重いバンドをホールから見たエネルギーで相対的に高いレベルへ押しやること（以下、バンド分離という。）ができる。その結果、有効質量の小さいバンド、すなわち、状態密度の小さいバンドをホールの基底状態のバンドとすることができます。そのため、InGaAs膜を井戸層に用いた量子井戸では、少ない注入キャリア密度で価電子帯の擬フェルミ準位を高くすることができ、良好な発光特性が得られることが知られている。しかしながら、従来の半導体光素子では、 $800 \sim 850 \text{nm}$ の波長帯で利用するという観点からは、一定のスペクトル半値幅を維持したまま効率のよい発光または增幅を安定して得ることは難しいという問題があった。

### 【0033】

これは、例えば特許文献2に記載されている中心波長が $800 \text{nm}$ より短波長領域に位置する半導体レーザの例では、In組成比が $0.03$ 程度のInGaAs膜を活性層に用いているため、In組成比が低く、圧縮歪みによる上記のバンド分離の効果が充分望めないことによるものである。この理由の説明に先立ち、本発明の半導体光素子における井戸層の厚さの下限およびIn組成比の上限について説明する。

### 【0034】

井戸層を薄くしていくと、次第に井戸層の原子層レベルの厚さの揺らぎが問題となる。かかる原子層レベルの厚さの揺らぎが問題となり始める厚さは、 $2.5 \text{nm}$ 程度である。以下では、InGaAsの井戸層の下限を $2.5 \text{nm}$ とし、井戸層の厚さは $2.5 \text{nm}$ 以上とする。また、In組成比を大きくしていくと、井戸層とGaAs基板等との格子不整合により良質の結晶が得られなくなる。かかる結晶性が問題となり始めるIn組成比は、 $0.2$ 程度である。以下では、井戸層のIn組成比の上限を $0.2$ とし、井戸層のIn組成比は $0.2$ 以下とする。

### 【0035】

ここで、上記のバンド分離の効果が充分望めない理由の説明に戻る。井戸層のIn組成比を $0.03$ とし、AlGaAs障壁層のAl組成比を $0.3$ とすると、圧縮歪みによる重いホールと軽いホールのバンド端のエネルギー差は $1.3 \sim 1.4 \text{meV}$ となる。このエネルギー差は、室温のエネルギー( $kT$ 。ここで、 $T$ は温度で $300 \text{K}$ とし、 $k$ はボルツマン定数である。) $25.9 \text{meV}$ の半分程度であるため、 $1.3 \sim 1.4 \text{meV}$ のエネルギー差では熱揺らぎに抗してホールを基底準位に充分確保しておくことはできない。

### 【0036】

このように、従来の半導体光素子では、In組成比が低いことなど、井戸層の構成が好適になされていなかったため、 $5 \text{nm}$ 以下の井戸層厚で高い光学利得を得ることができなかつた。本発明では、In組成比を $0.05$ 以上、すなわち、 $2.2 \sim 2.3 \text{meV}$ 程度以上

のエネルギー差が得られる組成とし、熱搖らぎに抗してホールを基底準位に充分確保しておくことできるようにした。

#### 【0037】

InGaAs膜を井戸層に用い、長波長井戸層のIn組成比を高くすることによって、上記の条件を好適に満たすことができる。また、InGaAs膜を井戸層に用いることによって、In原子がコンタミネーションを捕獲する作用があるため、井戸層の結晶性を向上できるという効果も得られる。

#### 【0038】

ここで、井戸層のIn組成比および厚さをそれぞれ、0.05および2.5nmとし、AlGaAs障壁層のAl組成比を0.3とすると、バンドギャップ波長は800nm程度となる。上記の構成（以下、第1の構成という。）と同様の構成で井戸層の厚さを5nmとした場合、バンドギャップ波長は850nm程度となる。また、第1の構成と同様の構成で井戸層のIn組成比を0.2とした場合、バンドギャップ波長は850nm程度となる。

#### 【0039】

上記のように、本発明は、井戸層のIn組成比および厚さをそれぞれ0.05～0.2および2.5～5nmとすることによって、格子歪の効果を有効に利用することができ、800～850nmの波長帯で広いスペクトル半値幅かつ高い光学利得を得ることができると、量子井戸を実現できるものである。なお、本発明の適用は、上記の各半導体層2、4～6の層厚および不純物濃度に限定されるものではなく、他の層厚および不純物濃度であってもよい。

#### 【0040】

次に、上記の各半導体層2～6を形成した後の処理について説明する。まず、図4(a)に示すように、フォトリソグラフィ技術等を用いて、リッジ部10と非導波部20とを分離するためのレジストパターン（以下、リッジ分離用レジストパターンという。）R<sub>1</sub>を形成する。ここで、リッジ部10の長手方向は、[011]軸方向を向いているものとする（工程2）。

#### 【0041】

工程2でリッジ分離用レジストパターンR<sub>1</sub>を形成したとき、硫酸-過酸化水素水溶液系のエッチング液を用い、リッジ分離用レジストパターンR<sub>1</sub>をエッチングマスクとしてエッチング阻止層5よりも表面側の半導体膜（クラッド層4およびコンタクト層6）を除去し、リッジ部10と非導波部20とを分離する分離溝を形成する（工程3。図4(b)参照）。なお、工程3では、分離溝を形成した後、リッジ分離用レジストパターンR<sub>1</sub>を除去するものとする。

#### 【0042】

工程3で分離溝を形成した後、ECR（Electron Cyclotron Resonance）、CVD（Chemical Vapour Deposition）等の方法を用いてSiO<sub>2</sub>の絶縁膜7を形成する（工程4。図4(c)参照）。工程4でSiO<sub>2</sub>の絶縁膜7を形成したとき、フォトリソグラフィ技術等を用いて、リッジ部10上のSiO<sub>2</sub>膜を除去しコンタクトホールを形成するためのレジストパターン（以下、コンタクトホール形成用レジストパターンという。）R<sub>2</sub>を形成する（工程5。図4(c)参照）。

#### 【0043】

工程5でコンタクトホール形成用レジストパターンR<sub>2</sub>を形成したとき、弗酸系のエッチング液を用い、リッジ部10上のSiO<sub>2</sub>膜を除去しコンタクトホールを形成する（工程6。図4(d)参照）。なお、工程6では、コンタクトホールを形成した後、コンタクトホール形成用レジストパターンR<sub>2</sub>を除去するものとする。

#### 【0044】

工程6でコンタクトホールを形成したとき、半導体基板1の表面側からp電極8用の金属を蒸着等によって堆積し、p電極8を形成する（工程7。図5(e)参照）。工程7で

p電極8を形成したら、半導体基板1の裏面を研磨して所定の厚さにする（工程8。図5（f）参照）。工程8で所定の厚さまで半導体基板1を研磨したら、n電極9を形成する（工程9。図5（g）参照）。これによりSLD100が得られる。

#### 【0045】

図6は、上記のようにして作製されたSLD100で得られた発光スペクトルの1例を示す図である。図6に示す例では、出力が60mW、中心波長が840nm、半値幅が27nmの連続光が得られている。ここで、第1の井戸層からの発光スペクトルと第2の井戸層からの発光スペクトルとが滑らかに結合され、一体となった発光スペクトルを形成している。

#### 【0046】

本発明に係るSLDが備える活性層は、圧縮歪を有する複数のIn<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As井戸層等からなり、これらの井戸層のうち少なくとも1層は他の井戸層と異なるバンドギャップ波長を有し、かつInの組成比xを0.05～0.20の範囲内とすることにより、GaAs基板に対する格子不整合が約0.35%から約1.5%程度になる。このような圧縮歪を有する井戸層は、価電子帯端を占めるホールの井戸層界面方向における有効質量が軽くなるため、ホールの状態密度が減少する。すなわち、In<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As井戸層を有する量子井戸に注入されるキャリア密度が少ない状態においても、ホールの擬フェルミ準位が容易に価電子帯内に進入するため、通電する電流が小さい領域から本発明のSLDは従来のSLDよりも高い光学利得が得られる。

#### 【0047】

また、上記のようない戸層を2.5nmから5nmと薄くすることにより、基底量子準位と第1励起準位のエネルギー差が大きくなるため、以下の効果が得られる。すなわち、基底準位にキャリアを集中させることによって、低い電流注入状態においては光学利得をさらに押し上げることができ、高い注入状態においては発光スペクトル半値幅を拡大できる。なお、上記の井戸層厚よりも薄い膜厚の井戸層を有する量子井戸を用いると、井戸層厚の原子層レベルの成長揺らぎの影響が大きくなり、波長制御性等が困難となる。

#### 【0048】

上記では、本発明をSLDに適用した例について説明したが、本発明の適用は、上記の例に限られるものではなく、所定のスペクトル半値幅を有する半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子に同様に適用できる。図7は、本発明に係る半導体光素子を半導体光増幅器に適用した場合の素子構成を示す図である。図7（a）は半導体光増幅器200の平面図であり、図7（b）は半導体光増幅器200のC-D断面図である。

#### 【0049】

図7において、半導体光増幅器200は、SLD100と同様に、半導体基板201と、クラッド層202と、活性層203と、クラッド層204と、エッチング阻止層205と、コンタクト層206と、不図示の絶縁膜207と、コンタクト層206上のp電極208と、半導体基板201の裏面（上記の半導体層202～205が積層された基板面と反対側の面をいう。）上のn電極209とを有する。

#### 【0050】

ここで、半導体光増幅器200は、SLD100とは異なり、吸収領域が形成されていないと共に、光が入射および出射する両方の端面上に反射防止膜212、213が形成されている。また、利得領域の端面近傍に50μm程度の電極が存在しない領域（電流非注入領域）を設けることで端面を介したリーク電流を抑制し端面劣化に強い素子を作製することができる。

#### 【0051】

半導体光増幅器200は、駆動電流が供給され、図7中に「入射光」と記載した方向から光を入射させると、光が半導体光増幅器200中の利得領域を通過することによって増幅され、図7中に「出射光」と記載した方向から光が射出するようになっている。本発明の構成を用いることにより、広い帯域で一定の増幅特性を持つ半導体光増幅器を実現する

ことができる。

#### 【0052】

なお、上記の電流非流入領域に亜鉛拡散等の処理を施して窓領域を形成し、端面での光吸収を抑制することによって、さらなる特性向上が実現できる。また、上記の電流非注入領域や窓領域をSLDの出射側端面に設けても、同様の効果を得ることができる。さらに、半導体光增幅器200と同様に、SLD100の吸収領域をなくして全て利得領域に変更した上で出射側端面と反対側の端面（以下、対向端面という。）に反射防止膜を設けることでSLDを構成してもよく、このように構成することによって、対向端面側に設けられた受光素子に対向端面からモニタ光を出力させることができる。

#### 【0053】

本発明に係る半導体光素子を外部共振器型半導体レーザの増幅素子に適用することによって、広い波長可変帯域を持つ外部共振器型半導体レーザを実現することができる。この場合、この増幅素子は、上記の半導体光增幅器200と同様の構成で、増幅素子を構成する一方の反射防止膜が所定の反射率の反射膜によって構成される。外部共振器型半導体レーザは、この増幅素子と、反射防止膜が設けられた端面側の増幅素子外部の光軸上に、レーザからの出射光を平行光にする集光手段と、所定の波長の光のみを反射し増幅素子側に戻す波長選択手段を備えた構成を有する。ここで、集光手段としては集光レンズが、波長選択手段としては反射角を変えることで反射光の波長が選択可能な回折格子が通常用いられる。

#### 【0054】

以上説明したように、本発明の実施の形態に係る半導体光素子は、活性層が他の量子井戸と異なる発光の中心波長を有する歪井戸層を有し、歪井戸層が $In_xGa(1-x)a$ As膜からなると共に、Inの組成比xが、歪井戸層内で生ずる格子歪が約0.35%から約1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく発光特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、もって井戸層の厚さが6nm未満であっても従来のSLD等の半導体光素子よりも良好な発光特性を得ることができる。

#### 【0055】

また、活性層が他の量子井戸と異なる増幅の中心波長を有する歪井戸層を有し、歪井戸層が $In_xGa(1-x)a$ As膜からなると共に、Inの組成比xが、歪井戸層内で生ずる格子歪が約0.35%から約1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく増幅特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、もって井戸層の厚さが6nm未満であっても従来の半導体光增幅器等の半導体光素子よりも良好な増幅特性を得ることができる。

#### 【0056】

さらに、各歪井戸層が2.5nmから5nmまでの範囲のいずれかの層厚を有するため、格子歪を有効に発生させることができ、従来の半導体光素子に比して、中心波長が800nmから850nmまでの波長帯でさらに良好な発光特性または増幅特性を得ることができる。

#### 【0057】

さらに、活性層に含まれる各量子井戸が略同一の層厚を有するため、上記の波長帯の中心波長および井戸層厚で適切に歪を生じさせることができる。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0058】

本発明に係る半導体光素子は、井戸層の厚さが6nm未満であっても従来の半導体光素子よりも良好な発光特性または増幅特性を得ることができるという効果が有用な半導体光素子として、光ジャイロ、光通信装置、光応用計測装置等の用途にも適用できる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0059】

【図1】本発明の実施の形態に係るスーパールミネットダイオード100の平面構造と断面構造の一例を示す図

【図 2】 井戸層の膜厚と発光波長との関係を  $I_n$  の組成比をパラメータにして示す図

【図 3】 本発明の実施の形態に係る活性層 3 の説明図

【図 4】 本発明の実施の形態に係るスーパールミネッセントダイオード 100 の作成方法の説明図

【図 5】 本発明の実施の形態に係るスーパールミネッセントダイオード 100 の作成方法の説明図

【図 6】 本発明のスーパールミネッセントダイオード 100 で得られる発光スペクトルの一例を示す図

【図 7】 本発明の実施の形態に係る半導体光増幅器 200 の平面構造と断面構造の一例を示す図

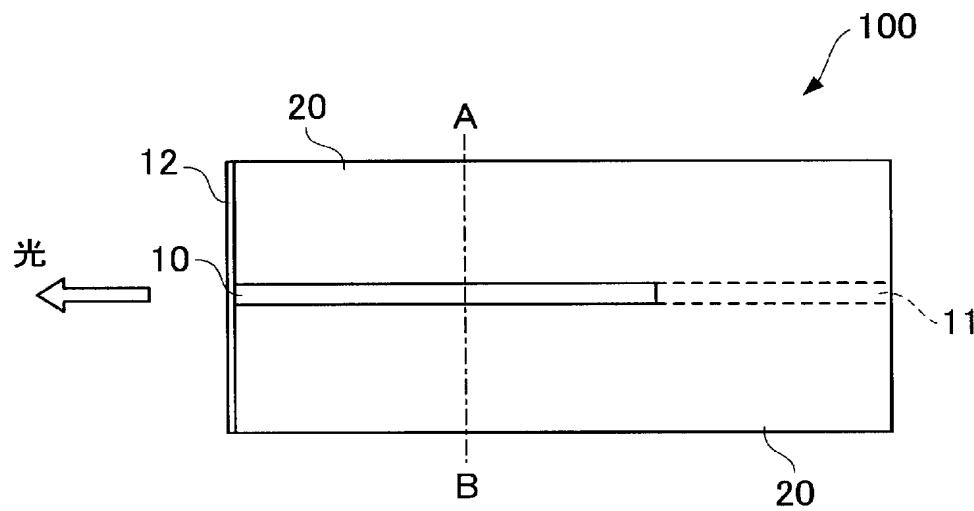
#### 【符号の説明】

##### 【0060】

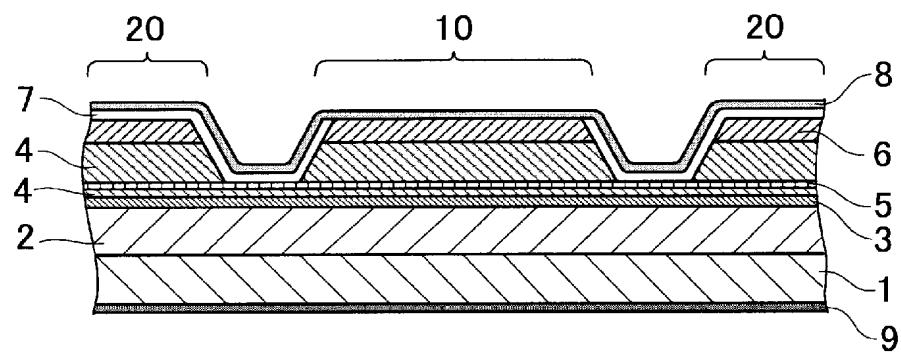
- 1、201 半導体基板
- 2、202 クラッド層
- 3、203 活性層
- 4、204 クラッド層
- 5、205 エッチング阻止層
- 6、206 コンタクト層
- 7 絶縁膜
- 8、208 p 電極
- 9、209 n 電極
- 10 リッジ部
- 11 吸収領域
- 12、212、213 反射防止膜
- 20 非導波部
- 100 スーパールミネッセントダイオード (S L D)
- 200 半導体光増幅器

【書類名】 図面

【図 1】

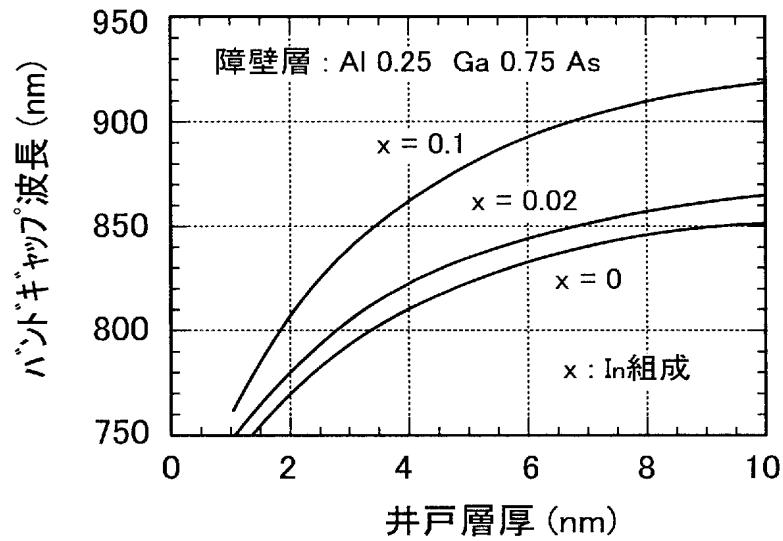


(a)

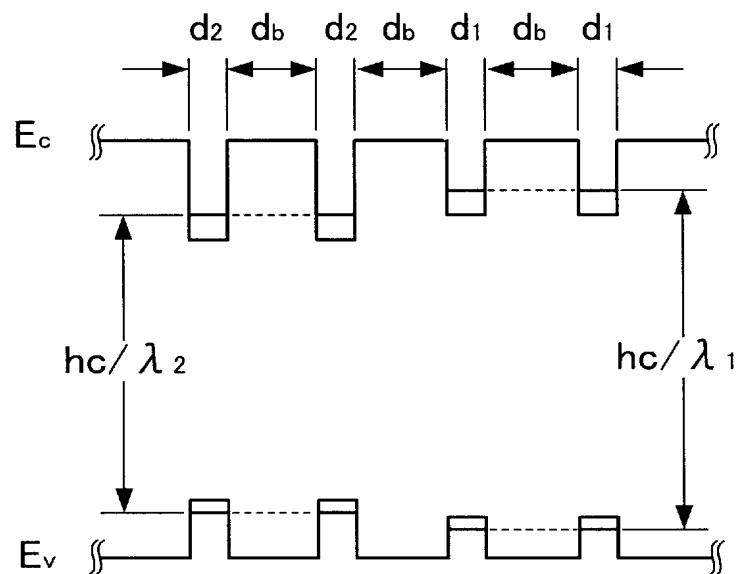


(b)

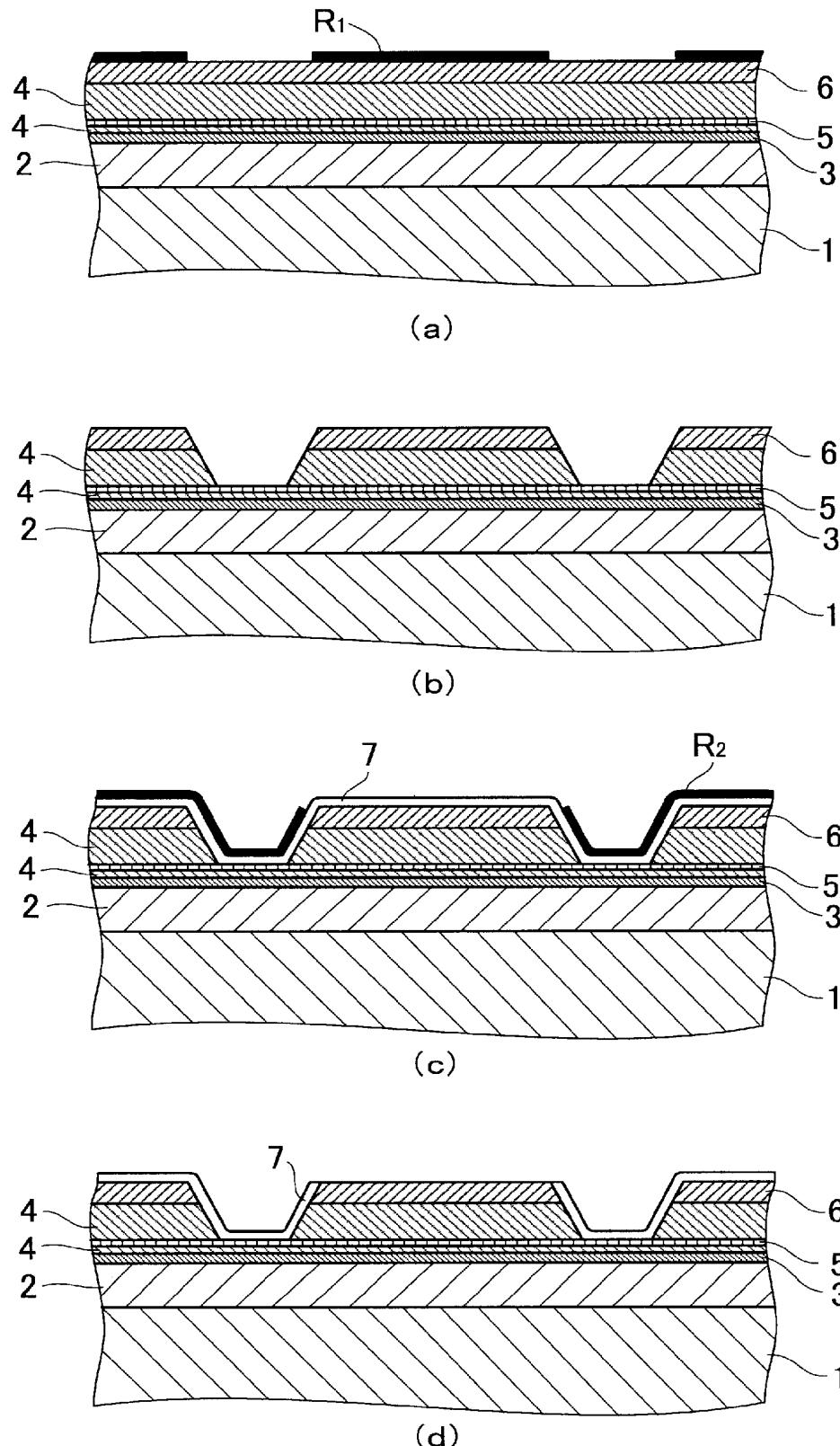
【図 2】



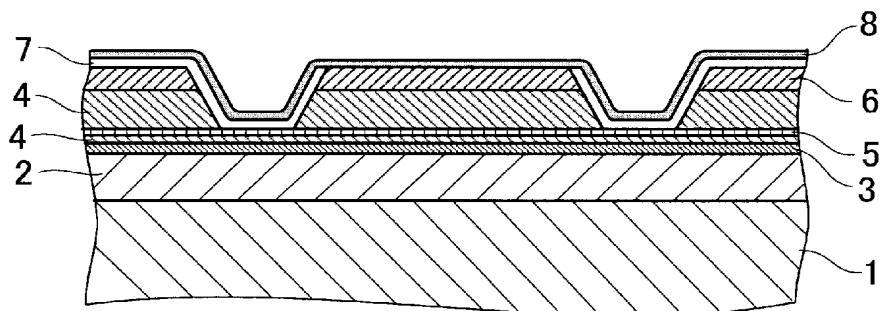
【図 3】



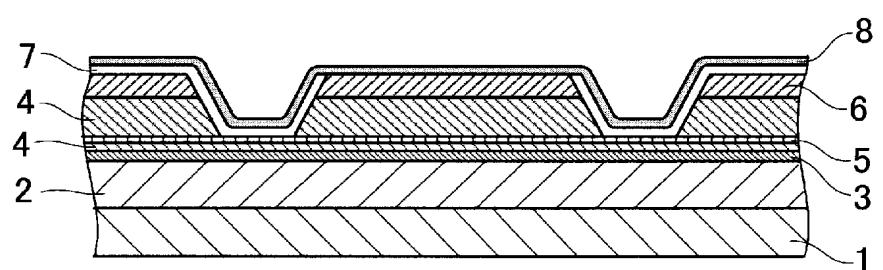
【図 4】



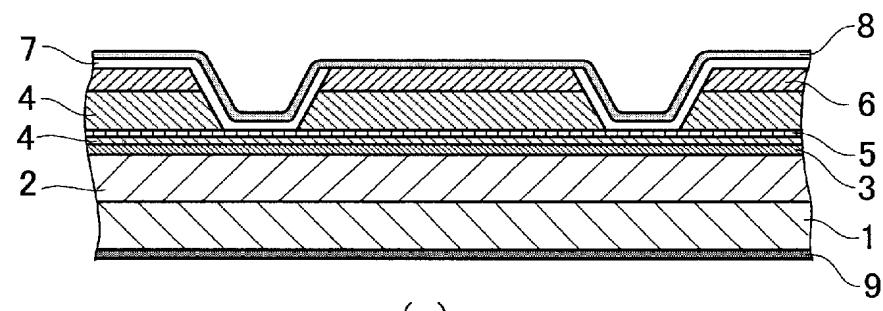
【図 5】



(e)

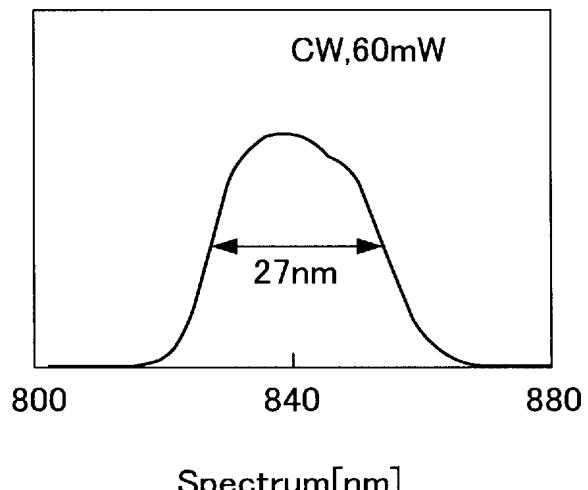


(f)

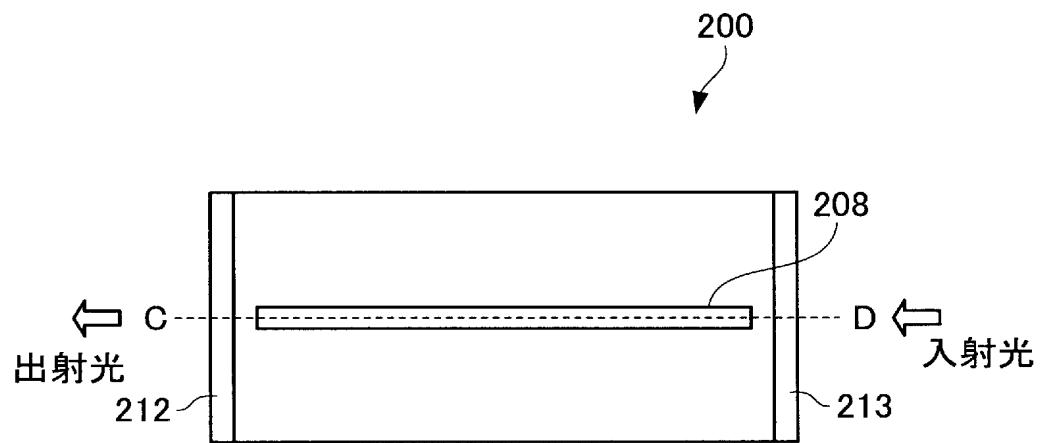


(g)

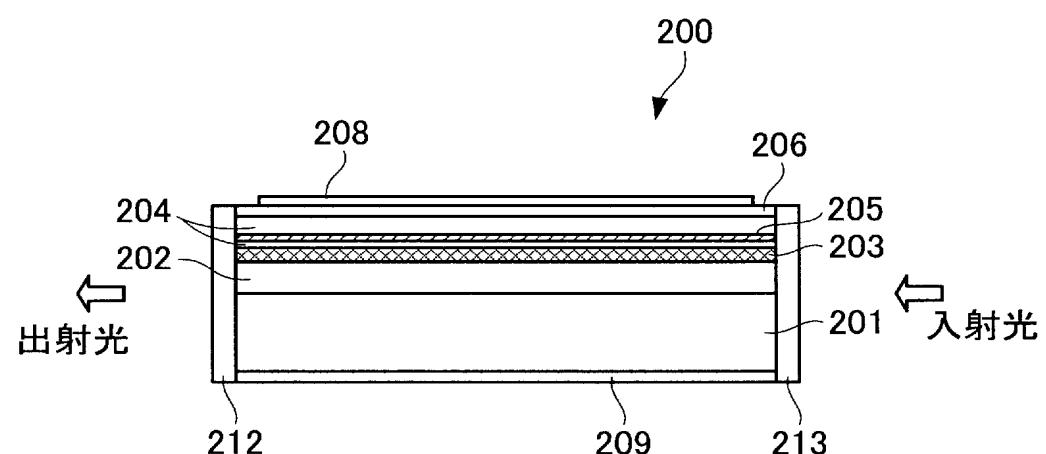
【図 6】



【図 7】



(a)



(b)

【書類名】要約書

【要約】

【課題】 井戸層の厚さが6 nm未満であっても従来のS L D、半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子よりも良好な発光特性または増幅特性を得ることが可能な半導体光素子を提供すること。

【解決手段】 n-半導体基板1と、n-クラッド層2と、障壁層と井戸層からなる量子井戸を複数有する活性層3と、n-クラッド層4と、エッチング阻止層5と、コンタクト層6と、絶縁膜7と、p電極8と、n電極9とを備え、800 nmから850 nmまでの発光の中心波長を有するスーパールミネッセントダイオード100であって、少なくとも1つ以上の井戸層が、 $In_{x}aGa(1-x)aAs$ 膜からなると共に、Inの組成比x aが0.05から0.20までの範囲のいずれかの値をとる、歪井戸層であり、歪井戸層を有する少なくとも1つ以上の量子井戸が他のいずれかの量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有する構成をなしている。

【選択図】 1

出願人履歴

0 0 0 0 0 5 7 2

20030627

住所変更

神奈川県厚木市恩名1800番地

アンリツ株式会社

0 0 0 0 0 5 7 2

20051114

住所変更

神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号

アンリツ株式会社